

Arto Ohenoja

KOLMOISVASTAANOTIN

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Syksy 2009



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Arto Ohenoja	
Työn nimi Kolmoisvastaanotin	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Mittaustekniikka	Ohjaaja(t) Jukka Heino Toimeksiantaja Ismo Talus
Aika 9.11.2009	Sivumäärä ja liitteet 22 + 4
<p>Insinöörityö tehtiin Kajaanin ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa kolmoisvastaanotin radioaallon tulosuunnan ilmaisemiseen. Kajaanin ammattikorkeakoulun katolla sijaitsee kolme antennia, joten tarvitaan samaan laitteeseen kolme vastaanotinta, joilla vastaanotetaan kantoaaltoa samanaikaisesti ja niiden avulla määritetään kantoaallon tulosuunta.</p> <p>Vastaanottimen tekniikkana käytettiin kytkindemodulaatiota. Työn tarkoituksena oli tutkia, kuinka hyvin kytkindemodulaatiotekniikalla tehty vastaanotin soveltuu radioaallon tehon mittaamiseen. Pohjana työlle käytettiin Daniel Richard Tayloen keksintöä, jossa ladataan ja puretaan kondensaattoria kytkinten avulla.</p> <p>Ensimmäiseksi rakennettiin yksi vastaanotin. Sen suorituskykymittauksien perusteella voitiin hahmottaa, mitkä komponentit soveltuvat parhaiten kolmoisvastaanottoon. Kolmoisvastaanottimessa käytetään analogiakytöntä, jolla puretaan ja ladataan kondensaattoria ohjaussignaalin tahdissa ja näin saadaan demodulointi onnistumaan. Kondensaattori toimii myös alipäästösuodattimena, jolla suodatetaan demoduloinnin aikana syntynyt summataajuus pois.</p> <p>Kolmoisvastaanottimelle tehtiin suorituskykymittauksia Kajaanin ammattikorkeakoulun piirianalyysaattorilla. Matemaattisesta esityksestä voitiin hahmottaa, että laite toimii muillakin sisään tulevilla taajuuksalueilla kuin alun perin oli suunniteltu. Nämä muut ei-toivotut taajuuksalueet saatiin kuitenkin estettyä suodattimen avulla ja laitteella voidaan vastaanottaa 3,579545 MHz:n lähetystä ja määrittää taajuuden tulosuunta.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Kolmoisvastaanotin, Kytkinmodulaatio
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Arto Ohenoja	
Title A Triple Receiver	
Optional Professional Studies Measurement Systems	Instructor(s) Mr Jukka Heino, Senior Lecturer
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences
Date November 9, 2009	Total Number of Pages and Appendices 22 + 4
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by the Kajaani University of Applied Sciences. The purpose of the thesis was to design and construct a triple receiver and to analyse the suitability of the coupler modulation for the measurement of the electromagnetic effect. The triple receiver consists of three separate receivers. These receivers are intended to measure three different antennas at the same time to determine the arrival direction of the carrier.</p> <p>The first stage was to design and construct a simple receiver. The final triple receiver was constructed on the basis of the simple receiver. As the technique of the receiver coupler modulation based on the invention of Daniel Richard Tayloe was used. The coupler charges and discharges the capacitor in step with the control signal. In that way the modulation is made to succeed. The capacitor also serves as the filter.</p> <p>The performance of the receiver was tested with an RF network analyzer and the results supported the theory. The triple receiver can be used to demodulate a 4 MHz carrier wave. With a little tuning it is also possible to receive transmission of 3.579545 MHz.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	Triple Receiver, Switch modulation
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Aluksi haluan kiittää Jukka Heinoa erittäin hyvästä työn ohjauksesta sekä mielenkiintoisesta insinööriyön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää Ismo Talusta, Harri Honkasta ja Markku Karpista erittäin hyvistä neuvoista ja avuista suunniteltaessa ja tehtäessä piirilevyä. Kielellisestä ohjauksesta haluan kiittää Eero Soinista.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TEOREETTISTA TAUSTAA	2
2.1 Vastaanotin	2
2.2 Superheterodynevastaanotin	2
2.3 Suora vastaanotin	3
2.4 Suorakonversiovastaanotin	4
2.5 Tayloen patentti	6
2.6 Kytkindemodulaattori	6
3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU	9
3.1 Vastaanotin	9
3.2 Kytkennän toiminta	9
3.3 Kolmoisvastaanottimen rakentaminen	12
4 VASTAANOTTIMEN MITTAUKSET	13
4.1 Vastaanottimen mittaustulokset	13
4.2 A/D-muuntimien testaus	17
5 VASTAANOTTIMEN JATKOKEHITTELY	20
6 YHTEENVETO	21
LÄHTEET	22
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Insinööriyön tarkoituksena oli rakentaa laite, joka vastaanottaa radiosignaalia. Kajaanin ammattikorkeakoulun katolla sijaitsee kolme antennia, joten tarvitaan laite, jossa on kolme kappaletta vastaanottimia samassa laitteessa. Näin voidaan samalla laitteella mitata eri antennien saapuvaa radioaaltoa, jonka taajuus on 3,579545 MHz.

Työn ohjaaja Jukka Heino ehdotti, että suunniteltaisiin ja valmistettaisiin laite, joka käyttää kytkindemodulaatiotekniikkaa havaitsemaan radiosignaalia. Kytkindemodulaatiiovastaanottimelle on annettu erittäin hyvä suorituskyskyarvio radiosignaalin vastaanottamiseen. Radiosignaalin demoduloimiseen on myös monia muitakin keinoja, mutta tässä insinööriyössä keskityttiin siihen, miten hyvin voidaan toteuttaa radiosignaalin vastaanottaminen kytkindemoduloinnin avulla.

Työssä käytettiin hyväksi Tayloen keksintöä, jossa signaali demoduloidaan suorakonversion avulla. Tayloen patentissa signaali demoduloidaan neljän vaihesiirron aikana. Työssä käytetään kuitenkin vain 180 asteen vaihesiirtoa kytkinten välillä.

Demoduloinnin tarkoitus on erottaa hyötysignaali kantoaallosta. Laitteella ei kuitenkaan tulla erottamaan hyötysignaalia kantoaallosta, vaan suoritetaan suora vaihesiirtymä kantoaallolle. Näin kantoaallon teho voidaan mitata ja määrittää kolmen vastaanottimen avulla sen tulosuunta.

2 TEOREETTISTA TAUSTAA

2.1 Vastaanotin

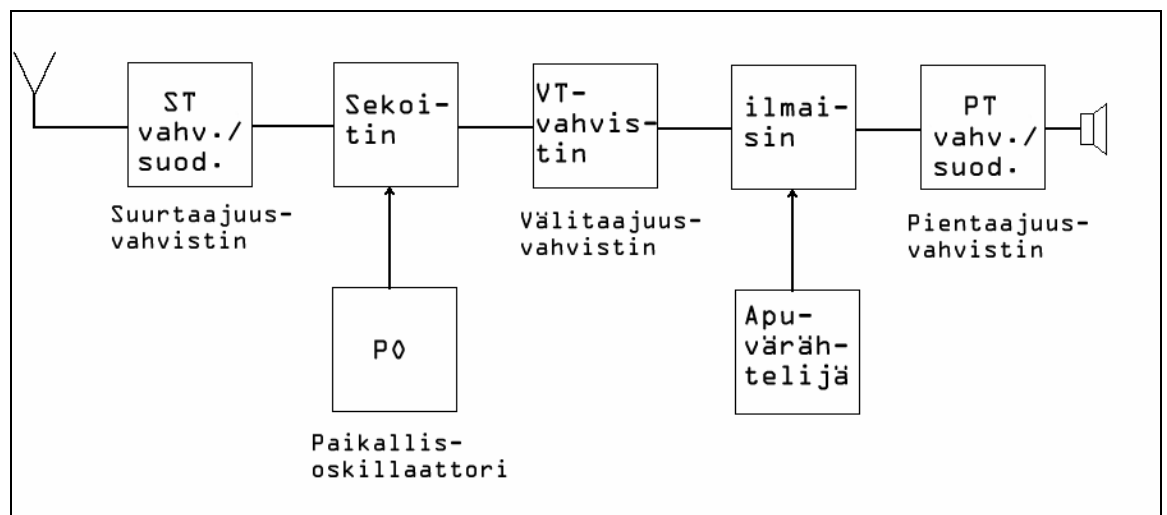
Vastaanottimen tarkoitus on erottaa hyötysignaali kantaallosta. Hyötysignaali voidaan moduloida kantaallon

- amplitudiin $U = U(t)$, amplitudimodulaatio
- taajuuteen: $\omega = \omega(t)$, taajuusmodulaatio
- vaiheeseen: $\varphi = \varphi(t)$, taajuusmodulaatio.

2.2 Superheterodynevastaanotin

Nykyiset radiovastaanottimet ovat toiminnaltaan miltei poikkeuksetta superheterodynevastaanottimia eli supereita[1].

Kuvassa 1 on esitetty superheterodynevastaanottimen lohkokaavio.

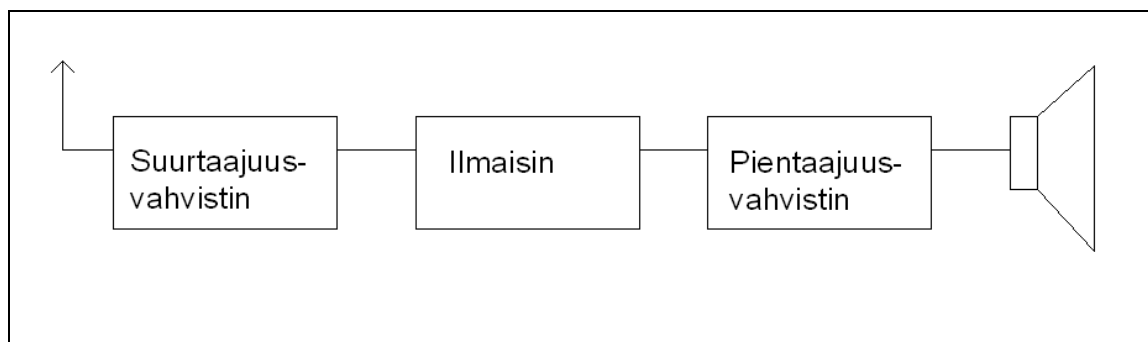


Kuva 1. Superheterodynevastaanottimen lohkokaavio.

Antennista tulevaa signaalia vahvistetaan suurtaajuus- eli RF-vahvistimessa, joka samalla vai-mentaa peilitaajuutta. Signaali viedään sekoittimelle, jonka toinen taajuus muodostetaan paikallisoskillaattorilla. Tämän ja vastaanotettavan signaalin taajuuksien erotus tai summa viedään välitaajuusvahvistimelle, jonka keskitaajuus on esim. 455 kHz ja kaistanleveys 2×4 kHz:n luokkaa. Siitä kaistapäästetty signaali ilmaistaan ja saatu pientaajuus viedään ensin esimerkiksi vahvistimelle ja sitten kovaääniselle. [1.]

2.3 Suora vastaanotin

Kaikkein yksinkertaisin vastaanotintyyppi on suora vastaanotin. Suorissa vastaanottimissa viedään antennista saatu suurtaajuusjännite joko suoraan tai suurtaajuusvahvistimen kautta ilmaisimeen. Taajuus on sama ilmaisimeen asti. Vastaanottotaajuudelle viritettyjen värähtelypiirien lukumäärän mukaan erotetaan yksipiiriset, kaksipiiriset jne. suorat vastaanottimet. Kuvassa 2 on esitetty suoran vastaanottimen lohkokaavio.



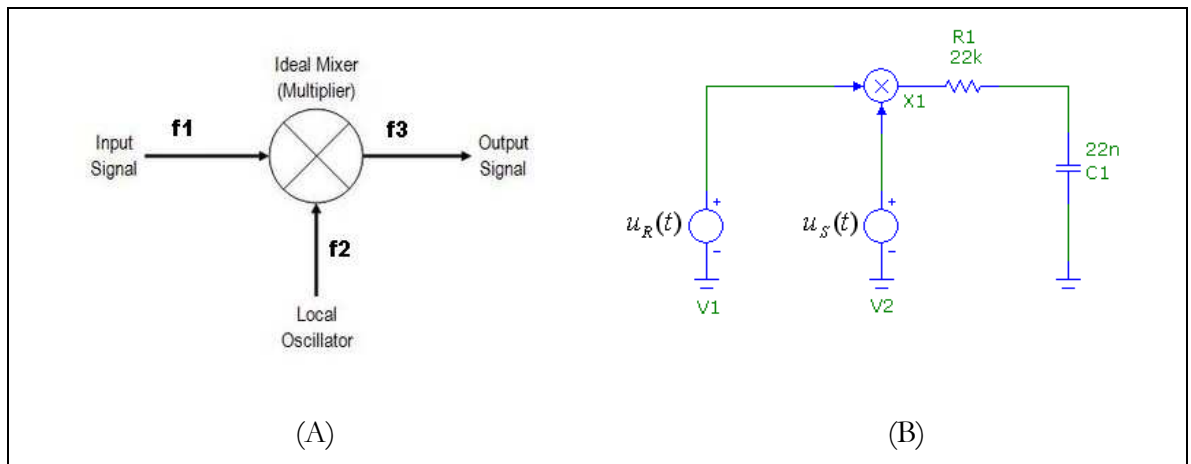
Kuva 2. Suoran vastaanottimen lohkokaavio.

Yksinkertaisimmillaan suora vastaanotin on yksipiirinen ilmaisinkytkentä, eli vahvistinosat voidaan jättää kokonaan pois. [2.]

Suoran vastaanottimen etuina voidaan pitää yksinkertaisuutta ja hyvää herkkyyttä. Sen huono puoli on huono selektiivisyys, eli saadaan kuulumaan vain pari asemaa kerrallaan.

2.4 Suorakonversiovastaanotin

Suorakonversiovastaanotin demoduloi sisään tulevan signaalin sekoittimen avulla suoraan käytettäväksi. Kuvassa 3 on havainnollistettu suorakonversiovastaanotinta ja esitetty Micro-Cap-simulaatiokytkentä suorakonversiovastaanottimesta.



Kuva 3. Kuvassa A on suorakonversioperiaate ja kuvassa B Micro-Cap-simulaatiokytkentä.

Suorakonversiovastaanotinta voidaan simuloida ja laskea seuraavalla tavalla.

Sisään tuleva signaali on

$$u_R(t) = \cos(\omega_R t),$$

joka kerrotaan ohjaussignaalilla

$$u_S(t) = \cos(\omega_S t).$$

Käyttämällä reduktiokaavaa saadaan

$$u_R(t) \times u_S(t) = \frac{1}{2} [\cos(\omega_R t + \omega_S t) - \cos(\omega_R t - \omega_S t)].$$

Tästä saadaan

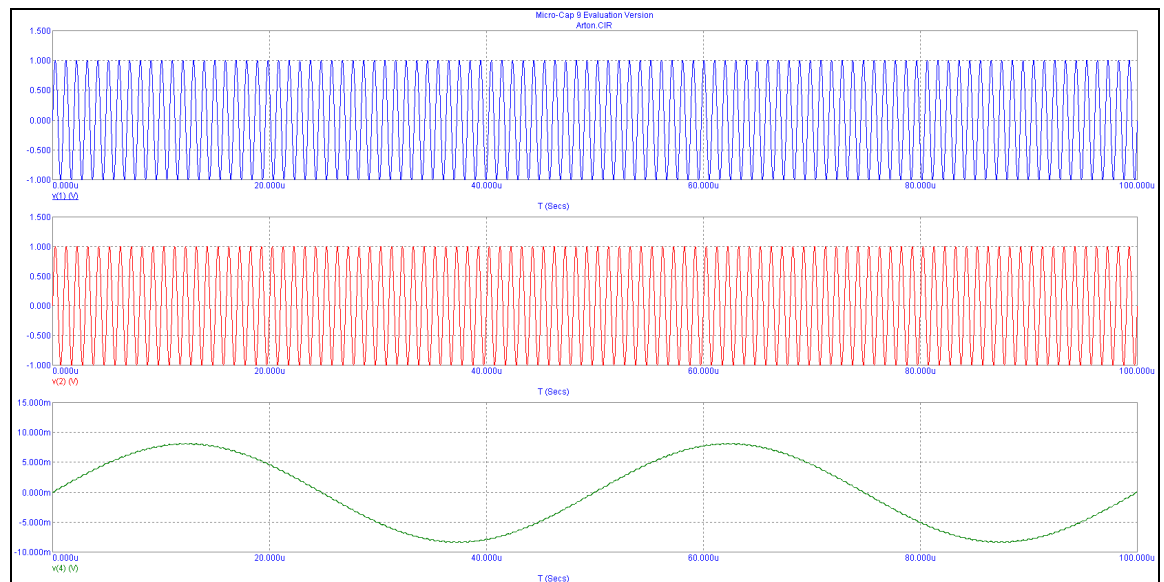
$$\cos(\omega_S t + \omega_R t) - \cos(\omega_S t - \omega_R t) \quad (1)$$

muotoa olevat termit.

Termeistä voidaan huomata, että suorakonversiovastaaanottimen ulostulona saadaan signaali, jonka taajuus on sisään tulevan taajuuden ja ohjaussignaalin taajuuden erotus ja sisään tulevan taajuuden ja ohjaussignaalin taajuuden summa.

Kuvan 2B simulaatiokytkenään syötetään $u_R(t) = \cos(\omega_R t)$, jonka taajuus on 1,02 MHz ja $u_S(t) = \cos(\omega_S t)$, jonka taajuus on 1 MHz. Vastusta R1 ja C1 käytetään alipäästösuodattimena, jolla saadaan kaavan 1 termi $\cos(\omega_S t + \omega_R t)$ suodatettua pois.

Kuvassa 4 on esitetty Micro-Capillä tehty analyysi kytkennästä. Siinä ylin oleva signaali on $u_R(t)$, keskimmäinen on $u_S(t)$ ja alin on kondensaattorin yli oleva jännite.



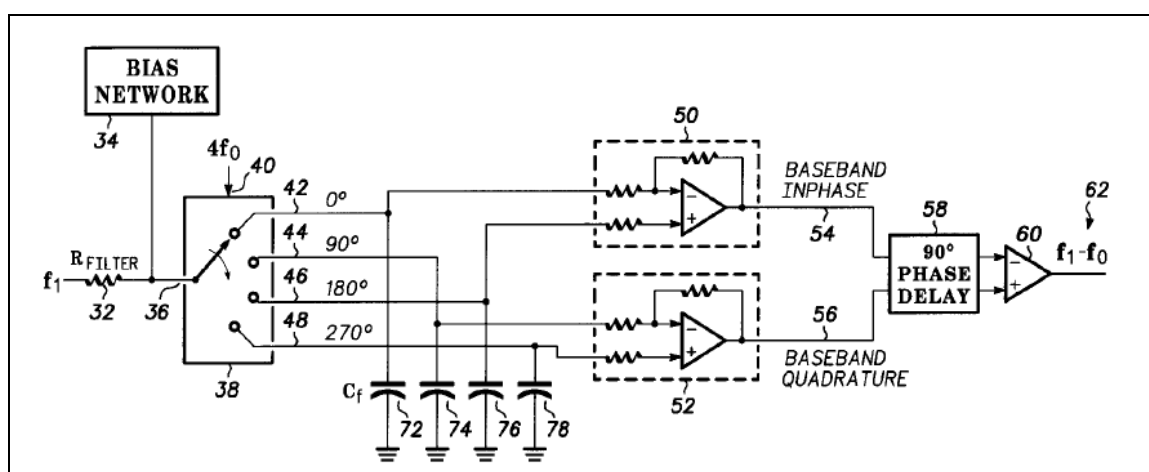
Kuva 4. Micro-Cap-simulonti.

Kuvasta 4 huomataan, että kertolaskupiirin jälkeen saadaan signaali, jonka jaksonpituus on 50 ns ja taajuus 20 kHz. Eli tämän taajuuden suuruus on juuri $u_R(t)$ ja $u_S(t)$ erotus. Kuvasta voidaan myös huomata, että $u_R(t)$ ja $u_S(t)$ summa on suodatunut minimaalisen pieneksi alipäästösuodatuksen jälkeen.

2.5 Tayloen patentti

Patentti numero US 623000 B1 on Daniel Richard Tayloen patentoima keksintö suorakonversiovastaanottimesta. Tayloen tavoitteena oli rakentaa laite, joka on yksinkertainen, halpa ja jossa on mahdollisimman pieni muunnoshäviö.

Kuvassa 5 on esitetty Tayloen keksimä suorakonversiovastaanotin.



Kuva 5. Tayloen suorakonversiovastaanotin [3].

Siinä käytetään neljää vaihetta signaalin demoduloimiseen. Sisään tulevasta signaalista otetaan näytteitä vaihekulmissa 0° , 90° , 180° ja 270° . Jokainen vaihe lataa erikseen kondensaattoreita 72, 74, 76 ja 78. Vastaanotin käyttää differentiaalivahvistinta vahvistuksen nostamiseen. Eli vaiheet 0° ja 180° sekä vaiheet 90° ja 270° on summattu toisiinsa differentiaalivahvistimen avulla. Lopussa 90° :n vaihesiirtopiiriä käytetään alemman differentiaalivahvistimen lähdön jälkeisen signaalin vaihesiirtämiseen. Lopuksi molemmat signaalit 54 ja 56 summataan toisiinsa, jonka jälkeen saadaan haluttu signaali ulos systeemistä.

2.6 Kytkindemodulaattori

Kytkindemodulaattorilla tarkoitetaan sitä, että kytkimen tuloon kytketään kantoaalto, jota katkotaan tietyllä aikavälillä. Tämä katkominen lataa tai purkaa kondensaattoria, jota käytetään samalla myös alipäästösuodattimena. Kytkindemodulaattori on suorakonversioas-

taanotin. Eli kytkimen jälkeen saadaan taajuuskaista, jota voidaan suoraan käyttää. Kytkin-demodulaattorilla siis suoritetaan kanta-aallon ja ohjaustaajuuden kertolasku.

Kytkindemoduloinnin matemaattinen esitys voidaan esittää seuraavasti:

Kytkenohjaustaajuus on neliöaaltoa, koska kytkintä ohjataan joko päälle tai pois päältä. Tälle on voimassa sarjakehitelmä

$$u_s(t) = \cos(\omega_s t) + \frac{1}{3} \cos(3\omega_s t) + \frac{1}{5} \cos(5\omega_s t) + \dots$$

Se kerrotaan sisään tulevalla signaalilla, joka on

$$u_R(t) = \cos(\omega_R t).$$

Kytkimien jälkeinen taajuus on

$$u_s(t) \times u_R(t) = \cos(\omega_s t) \times \cos(\omega_R t) + \frac{1}{3} \cos(3\omega_s t) \times \cos(\omega_R t) + \frac{1}{5} \cos(5\omega_s t) \times \cos(\omega_R t) + \dots$$

Käyttämällä reduktiokaavaa saadaan

$$\begin{aligned} u_s(t) \times u_R(t) = & \frac{1}{2} [\cos(\omega_s t + \omega_R t) - \cos(\omega_s t - \omega_R t)] + \frac{1}{6} [\cos(3\omega_s t + \omega_R t) - \cos(3\omega_s t - \omega_R t)] \\ & + \frac{1}{10} [\cos(5\omega_s t + \omega_R t) - \cos(5\omega_s t - \omega_R t)] + \dots \end{aligned}$$

Tästä saadaan muotoa

$$\begin{aligned} & \cos(\omega_s t + \omega_R t) - \cos(\omega_s t - \omega_R t) + \cos(3\omega_s t + \omega_R t) - \cos(3\omega_s t - \omega_R t) + \cos(5\omega_s t + \omega_R t) \\ & - \cos(5\omega_s t - \omega_R t) \end{aligned} \quad (2)$$

olevia termejä.

Nyt on hyvä huomata, että mikäli kytkenohjaustaajuus ja sisään tuleva taajuus on lähellä toisiaan, eli $\cos(\omega_s t) \approx \cos(\omega_R t)$, jää pelkästään termi $\cos(\omega_s t - \omega_R t)$ jäljelle. Loput taajudet ovat paljon korkeampia kuin alipäästösuodattimen rajataajuus, joten ne suodattuvat pois.

Kaavasta 2 voidaan myös huomata, että signaalia voidaan demoduloida neliöaallon harmonisilla taajuuksilla.. Esimerkiksi jos sisään tuleva taajuus f_R on lähellä taajuutta $3 \times f_s$, jää kaavan 2 $\cos(3\omega_s t - \omega_R t)$ termi vaikuttamaan ja tuloksena saadaan signaali, jonka taajuus on $3 \times f_s - f_R$.

3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU

3.1 Vastaanotin

Työ aloitettiin suunnittelemalla ja tekemällä yksinkertainen vastaanotin. Siinä voitiin hahmottaa, mitä komponentteja tarvitaan, että onnistutaan rakentamaan toimiva kytkindemodulaattori. Tämän yksinkertaisen vastaanottimen suorituskykymittausten perusteella rakennettiin lopullinen kolmoisvastaanotin.

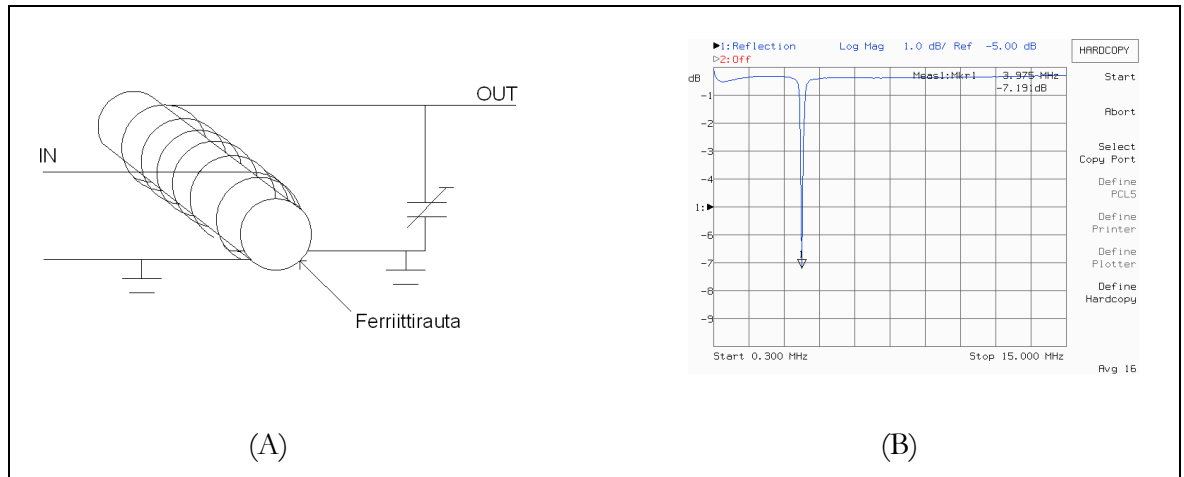
Kolmoisvastaanottimessa on kolme identtistä vastaanotinta, jotka kaikki on kytketty A/D-muuntimeen ja A/D-muuntimien lähdöt on kytketty yhteen. Piirilevyllä laitettiin 15-napainen D-liitin, jolla voidaan yhdistää A/D-muuntimien lähdöt mikroprosessoriin ja jonka kautta voidaan ohjata A/D-muuntimia.

Kolmoisvastaanottimen suunniteltu piirikaavio on esitetty liitteessä 1.

3.2 Kytkenän toiminta

Suodatin

Suodattimella on kaksi tarkoitusta vastaanottimessa. Sillä voidaan sovittaa antennilta tuleva impedanssi kytkentään ja estää ei-toivottujen taajuuksien pääseminen kytkentään. Kuvassa 6 on esitetty suunniteltu suodatin ja sille tehty heijastusmittaus piirianalyssaattorin avulla.

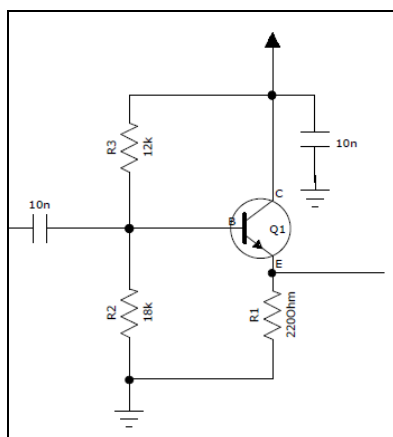


Kuva 6. Kuvassa A on suodatin ja kuvassa B on siitä otettu heijastusmittaus.

Suodattimessa on yksi kierros kuparilankaa sisääntulopuolella ja noin 50 kierrosta lähtöpuolella ferriittirautatangon ympärillä. Kytkennässä kondensaattorina käytettiin säätökondensaattoria, koska sillä voidaan muuttaa kaistanpäästön keskitaajuutta. Kuvassa 6B näkyy, että suodattimen keskitaajuus on saatu 4 MHz:n kohdalle.

Virtavahvistus

Suodattimelta tulevan signaalin virtaa kasvatetaan virtavahvistimessa. Virtavahvistimeksi suunniteltiin emitteri-seuraaja ja transistorina käytettiin 2N2222-transistoria. Kuvassa 7 on esitetty kytkentä.



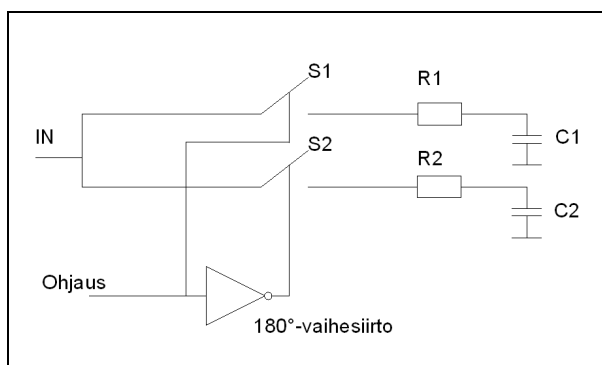
Kuva 7. Virtavahvistin.

Kytkenässä luodaan emitterivastukselle jännite, joka on puolet käyttöjännitteestä vastuksien R2 ja R4 avulla. Emitterivastuksella R1 rajoitetaan emitteri- ja kollektorivirtaa.

Virtavahvistimella lisätään tasajännitekomponentti antennilta tulevaan signaaliin, koska analogiakytkimelle ei voi viedä alle maatasoa olevaa jännitettä. Virtavahvistin toimii myös erottimeksi sekä auttaa pitämään vakioimpedanssin kytkimelle.

Kytkindemodulaattori

Vastaanottimessa käytettiin CD4066-tyyppistä analogiakytkintä. CD4066-analogiakytkin pysyy vaihtamaan tilaa jopa 40 MHz:n tahdissa, joten se soveltuu hyvin 4 MHz:n signaalin vastaanottamiseen. CD4066:ssa on samassa piirissä neljä analogiakytkintä, joista kahta käytetään. Kuvassa 8 on esitetty periaatekuva kytkennästä.



Kuva 8 Kytkindemodulaattori.

Tuleva signaali on kytketty sekä S1- että S2-tuloihin. S1- ja S2-kytkinten ohjauksia ohjataan oskillaattorin avulla siten, että ne ovat 180 asteen vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Oskillaattorissa käytettiin 4 MHz:n kidettä, eli kytkimiä ohjataan 250 nanosekunnin mittaisella neliöaaltopulssilla. Kytkinten jälkeisellä alipäästösuodattimella on kaksi tehtävää. Se suodattaa demoduloinnin aikana syntyneet ylimääräiset taajuudet pois ja kytkin varaa tai purkaa jännitettä kondensaattorin yli, jolloin saadaan demodulointi onnistumaan.

Erovahvistin

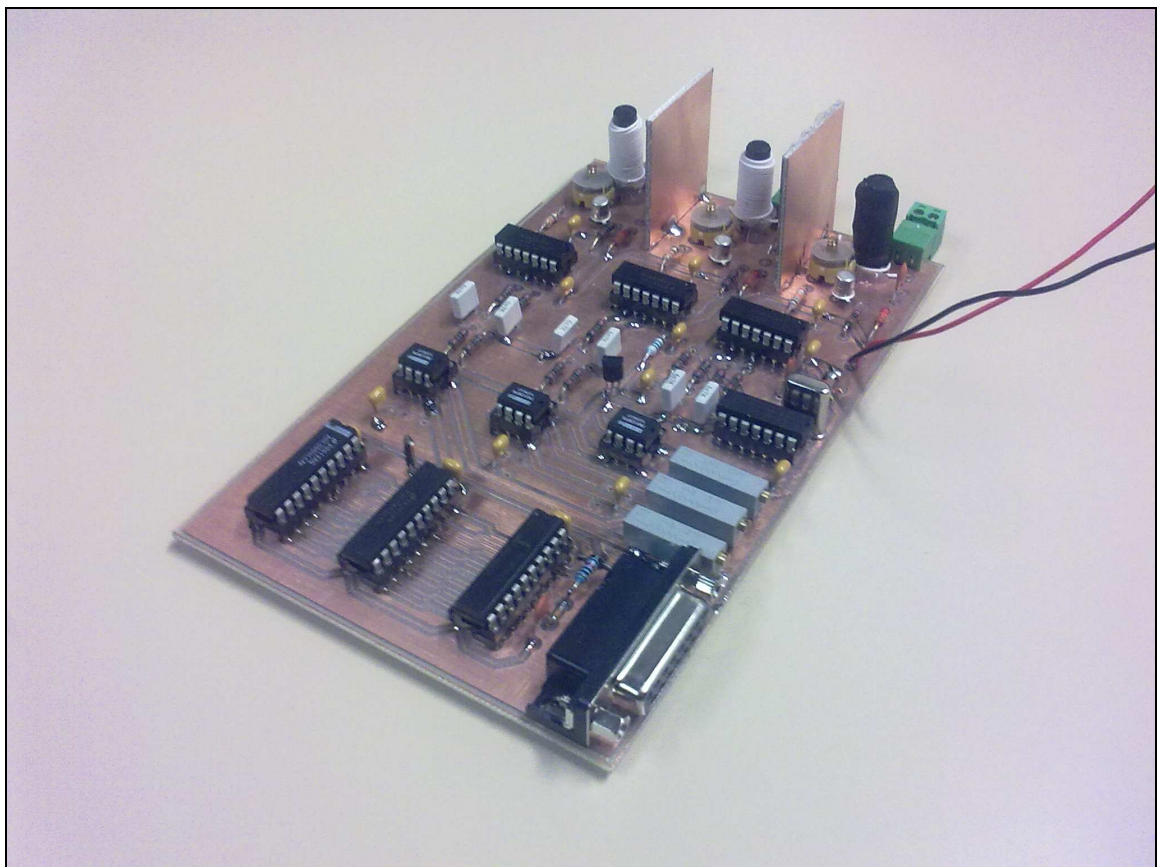
Erovahvistimella on kytkennässä se tarkoitus, että kytkinmodulaattorin jälkeiset kaksi signaalia saadaan summattua toisiinsa ja näin saadaan signaalin voimakkuutta kasvatettua. Kytkin-

modulaattorilta lähtevät kaksi signaalia ovat 180° vaihesiirrossa toisiinsa nähden, summautuvat ne toisiinsa, koska virtuaalinen maa on säädetty 2,5 voltiksi. Erovahvistimena käytettiin INA126-instrumentointivahvistinta. Sillä voidaan signaalin amplitudia vielä lisäksi lisätä käyttämällä vain yhtä ulkoista vastusta. Työssä vastus korvattiin trimmeripotentimetrillä, jolloin vahvistusta voidaan helposti säätää.

3.3 Kolmoisvastaanottimen rakentaminen

Kolmoisvastaanottimen piirilevy suunniteltiin ja tehtiin PADS-ohjelmiston avulla. Liitteessä 2 on esitetty piirilevyn ylä- ja alapuoli. Liitteessä 3 ja 4 on esitetty komponenttien sijoittelukuva piirilevylle ja osaluettelo.

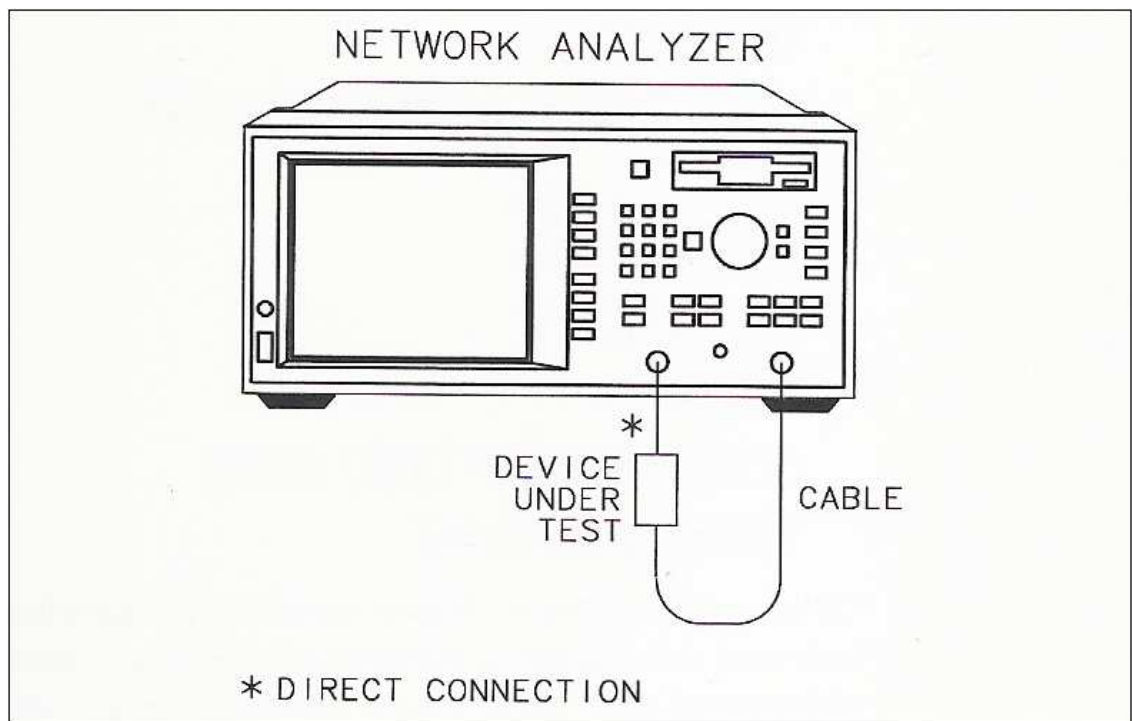
Piirilevy jysittiin Kajaanin ammattikorkeakoulun piirilevynjysintälaitteistolla. Piirilevyyn jouduttiin jälkikäteen asentamaan palat kaksipuolista piirilevyä staattiseksi suojaksi suodattimen kelojen väliin. Kuvassa 10 on esitetty rakennettu piirilevy.



Kuva 10. Kolmoisvastaanotin.

4 VASTAANOTTIMEN MITTAUKSET

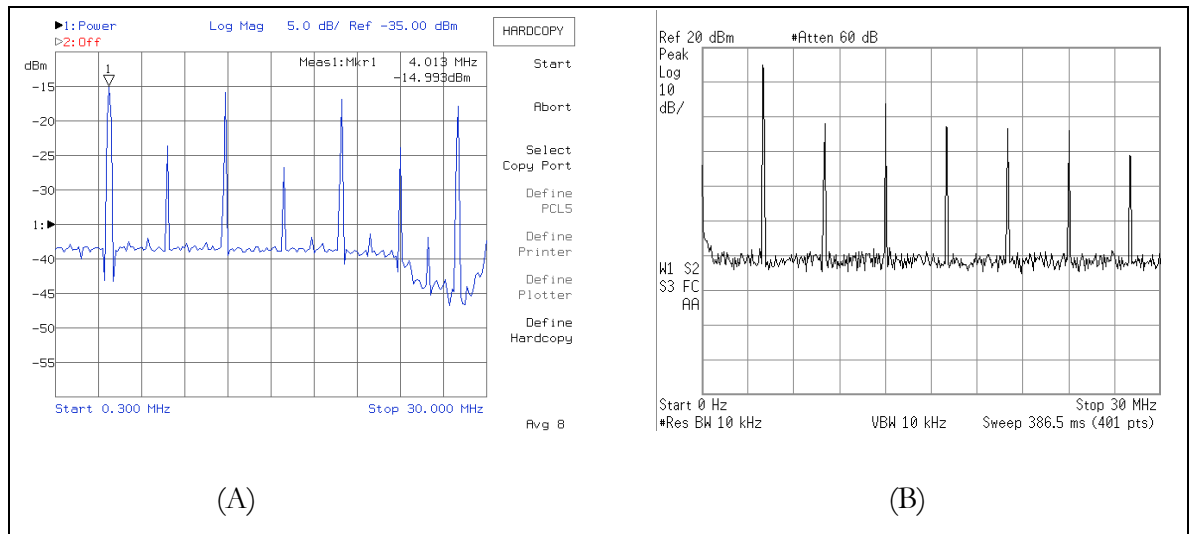
Mittauksia suoritettiin työn edetessä. Oleellisia mittauksia olivat piirianalysaattorilla tehtävät läpäisymittaukset. Piirianalysaattorin läpäisymittaus toimii siten, että se lähettää tietyllä taajuudella tehoa ja mittaa samanaikaisesti tulopuolen tehon, jonka se saa kaikilta taajuuksilta. Näin ollen voidaan suorittaa mittauksia vastaanottimelle. Kuvassa 11 on esitetty mittausperiaate.



Kuva 11. Läpäisymittauksen tekeminen piirianalysaattorin avulla [4, s. 3—56].

4.1 Vastaanottimen mittaustulokset

Kuvassa 12 on esitetty piirianalysaattorilla tehty läpäisymittaus yhdelle vastaanottimelle ja kytkinmodulaattorin ohjaussignaalin spektri.



Kuva 12. Kuvassa A on vastaanottimen läpäisymittaus ja kuvassa B kytkinmodulaattorin ohjaussignaalin spektri.

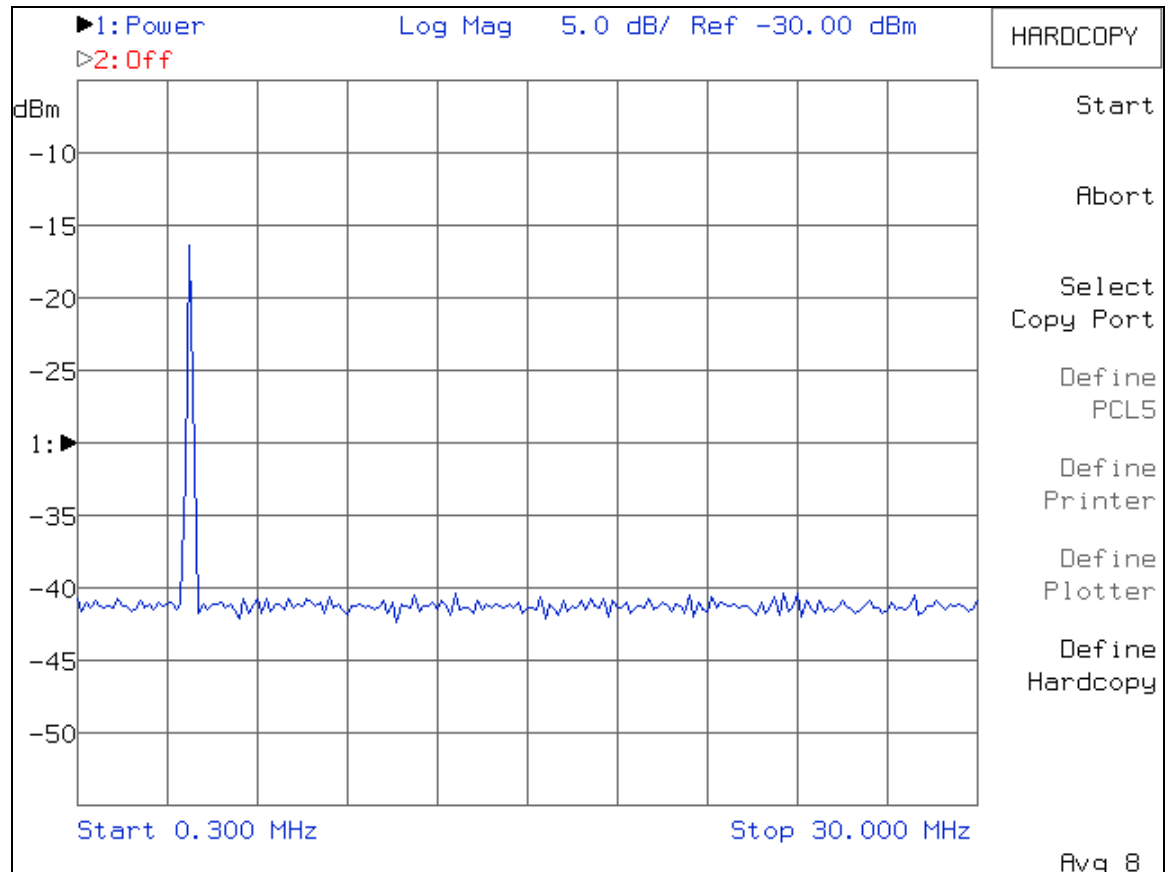
Kuvasta 12A voidaan havaita, että 4 MHz:n, 8 MHz:n, 12 MHz:n, 16 MHz:n, 20 MHz:n, 24 MHz:n, 28 MHz:n kohdalla on kartion muotoinen piikki. Tämä tarkoittaa sitä, että kytkin-demodulaatio on onnistunut ja sillä kohdalla on onnistuttu luomaan uusi taajuus alipäästösuodattimen jälkeen.

4 MHz:n, 12 MHz:n ja 20 MHz:n kohdalla olevat piikit muodostuvat siitä, kun kytkintenohjaustaajuutena käytetään 4 MHz:n neliöaaltoa. 4 MHz:n kohdalla oleva kartiomainen taajuusalue johtuu kaavan 2 toisen termin $\cos(\omega_s t - \omega_R t)$ taajuussiiirtymästä. Tässä mitattu taajuus on kytkinohjaustaajuuden f_s ja sisään tulevan taajuuden f_R erotuksien itseisarvo. 12 MHz:n kohdalla oleva kartiomainen taajuusalue johtuu kaavan 2 neljännen termin $\cos(3\omega_s t - \omega_R t)$ taajuussiiirtymästä. Tässä mitattu taajuus on kytkinohjaustaajuuden ensimmäisen harmonisen $3 \times f_s$ ja sisään tulevan taajuuden f_R erotuksien itseisarvo. Myös kaikki muut kartion muotoiset piikit, jotka ovat parittoman kertaluvun päässä ohjaussignaalin taajuudesta, johtuvat neliöaallon harmonisista taajuuskomponenteista.

8 MHz:n, 16 MHz:n, 24 MHz:n ja 28 MHz:n kohdalla oleva kartion muotoinen piikki johtuu siitä, että oskillaattorilla tuotettu signaali ei ole täysin neliöaaltoa, vaan siinä esiintyy epäsymmetrisyyttä. Tämä epäsymmetrisyys on havaittavissa spektrianalyysaattorilla otetusta kuvasta

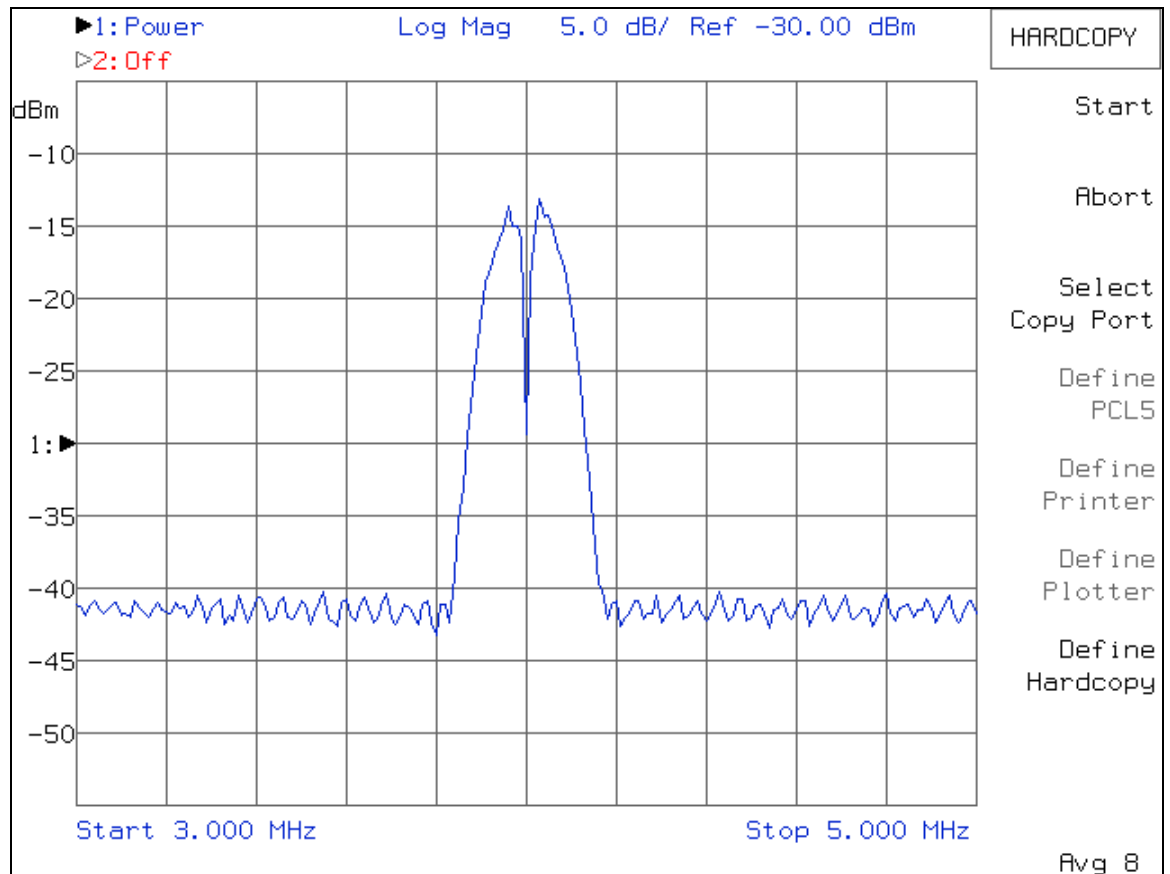
12B. Siinä näkyy 8 MHz:n, 16 MHz:n, 24 MHz:n ja 28 MHz:n kohdalla kartion muotoinen piikki. Se osoittaa, että kytkindemodulaatio voi toimia myös näillä taajuuksilla.

Kuvassa 13 on esitetty piirianalysaattorilla tehty läpäisymittaus, kun suodatin on kytketty piirilevylle.



Kuva 13. Vastaanottimen läpäisymittaus.

Kuvasta 13 voidaan havaita, että suodatin on estänyt kytkindemodulaation onnistumisen ohjaussignaalin harmonisilla ja kytkimen epälineaarisuudesta aiheutuvilla taajuuksilla. Kuvassa 13 näkyvä kartionmuotoinen piikki on 4 MHz:n kohdalla, ja juuri sitä taajuusaluetta vastaanottimella halutaan demoduloida. Kuvassa 14 on esitetty sama mittaus, mutta taajuusalue mitauksessa on 3-5 MHz.

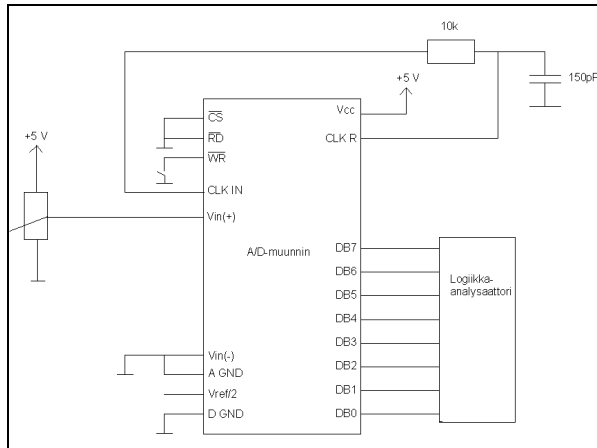


Kuva 14. Vastaanottimen läpäisymittaus pienemmällä taajuusalueella.

Kuvasta 14 voidaan havaita, että vastaanotetun signaalin taso lähtee kasvamaan noin 3,4 MHz:n kohdalla ja 4 MHz:n kohdalla on kuoppa. 4 MHz:n kohdalla signaalin f_R ja kytkinmodulaattorin ohjaussignaalin f_S erotus on nolla ja lähdössä on pelkkä tasajännitekomponentti. Tasajännite on estetty pääsemästä kytkentään kondensaattorin avulla, jolloin piirianalisaattori luulee tasajännitteen arvon olevan nolla, ja kuoppa pääsee syntymään kuvaan.

4.2 A/D-muuntimien testaus

Kuvassa 15 on esitetty periaate, miten A/D-muunnin kytkettiin testauksen ajaksi.



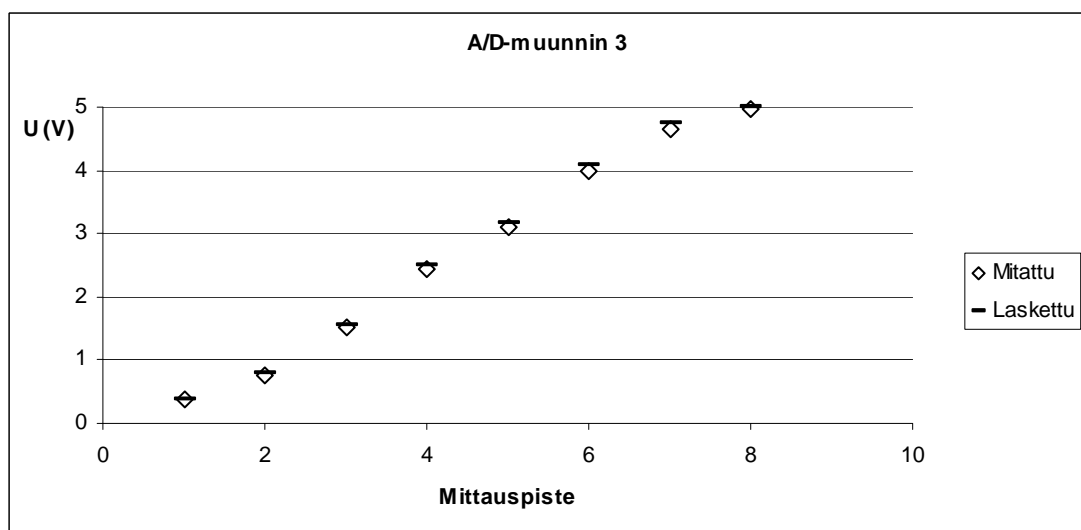
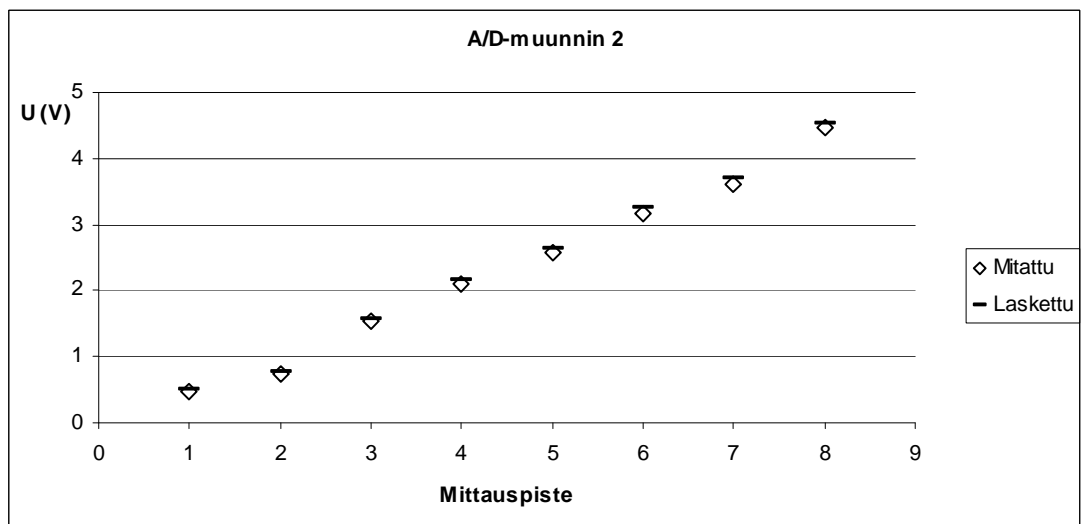
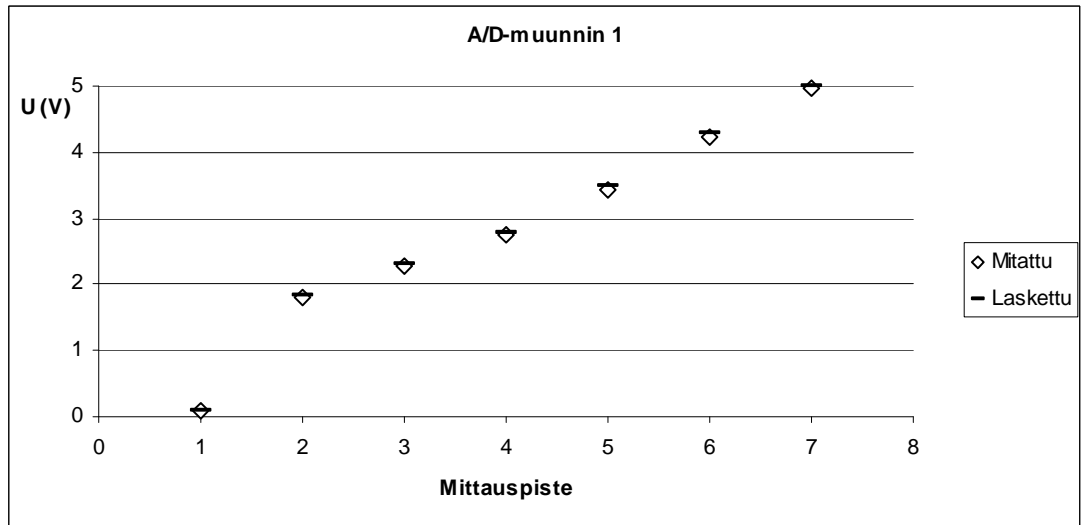
Kuva 15. A/D-muuntimen testauskytkentä.

Instrumentointivahvistin otettiin pois piirilevyiltä ja A/D-muuntimen tuloon syötettiin potentiometrin avulla tiettyä jännitettä. Käyttämällä linjaa WR aktiivisena saatiin muunnettua jännitteen arvo A/D-muuntimen lähtöön. Testauksessa piti ottaa huomioon, että halutun A/D-muuntimen piirinvalinta CS on aktiivinen ja muiden A/D-muuntimien piirinvalinta CS passiivinen. Kaavan

$$U_{in} = \frac{5V}{2^8 - 1} * Out_{dec} \quad (3)$$

avulla voidaan laskea A/D-muuntimelle tullut jännite, missä U_{in} on sisään tuleva jännite ja Out_{dec} on lähdön bittikombinaation desimaaliarvo.

Testauksessa jännitteen arvoa muutettiin satunnaisesti potentiometrin avulla, jonka jälkeen mittauspisteen jännite mitattiin yleismittarilla ja bittikombinaatio taulukoitiin. Kuvassa 16 on esitetty kaavan 3 avulla laskettu bittikombinaatiota vastaava jännitearvo ja mitattu jännitearvo eri mittauspisteiden välein.



Kuva 16. Mitattu ja laskettu jännite eri mittauspaikoista.

Kuten kuvasta 16 voidaan huomata, saatiin bittikombinaation avulla lasketusta arvosta kohtuullisen lähelle oleva arvo, kun sitä verrataan yleismittarilla mitattuun. Tämän kuvan perusteella voidaan olettaa, että A/D-muuntimet toimivat.

5 VASTAANOTTIMEN JATKOKEHITTELY

Vastaanottimesta kehiteltiin prototyyppi. Tämän prototyypin avulla on hyvä ryhtyä tekemään lopullista kolmoisvastaanotinta. Lopullisessa kolmoisvastaanottimessa kannattaa kiinnittää huomiota parempiin komponentteihin ja viimeistellympään piirilevyyn. Suodattimien kelat on tällä hetkellä tehty siten, että niillä saadaan kaistanpäästön keskitaajuus 4 MHz:n kohdalle, mutta ei ole otettu tarkalleen huomioon, millä muuntajan kierrosmäärillä saadaan maksimaalinen teho siirrettyä antennista kytkentään. Erilaisia ja parempia kytkimiä on myös mahdollista käyttää, jolloin saadaan kytkinmodulaatio toimimaan vielä paremmin.

Piirilevyn suunnittelussa on tapahtunut pari pientä virhettä. Yksi on se, että trimmeripotentimietrien jalat on juotettu komponenttipuolelle. Piirilevy pitäisi suunnitella uusiksi siten, että jalat juotettaisiin kiinni piirilevyyn eri puolelta kuin mitä itse komponentti on. Tämä mahdollistaisi sen, että komponentti pysyisi tukevammin piirilevyssä kiinni ja sitä olisi helpompi juottaa paikoilleen.

Kolmoisvastaanotin toimii kuitenkin niin kuin sen suunniteltiin toimivan, eikä siinä ilmene suurempia ongelmia. Alkuperäisen suunnitelman mukaan piti vastaanottaa 3,579545 MHz:n taajuutta. Tämän taajuuden vastaanottaminen on mahdollista, kun vaihtaa piirilevylle kiteen ja säätää suodattimen trimmerikondensaattorista kaistanpäästösuodattimen keskitaajuuden myös samalle taajuudelle kuin kantoaalto.

6 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli rakentaa laite, jolla voitaisiin mitata sähkömagneettisen tehon tulosuunta. Laitteeseen suunniteltiin vastaanotin, joka käyttää kytkinmodulaatiotekniikkaa. Kytkinmodulaattorissa käytettiin analogiakytöntä, jonka avulla ladattiin tai purettiin kondensaattoria. Kondensaattori toimi myös alipäästösuodattimena, jolla saatiin kytkinmoduloinnin aikana syntynyt summataajuus suodatettua pois. Kytkinmodulaattorin jälkeiset kaksi signaalia summattiin toisiinsa erovahvistimella, ja sen jälkeen ne vietiin A/D-muuntimelle. A/D-muuntimien lähdöt kytkettiin toisiinsa ja liitettiin D-liitimeen, jonka avulla laite on helposti liitettävissä tietokoneeseen.

Laitetta testattiin ikään kuin kantoaaltotaajuus olisi 4 MHz, ja kuten matemaattisesta esityksestä voitiin hahmottaa, laite toimi muillakin sisään tulevilla taajuuksilla kuin 4 MHz. Näiden ei-toivottujen signaalien vastaanottomahdollisuus onnistuttiin estämään suodattimen avulla. Lisäksi suodatin toimi impedanssisovittimena kytkennän ja antennin välillä.

Laitteella tullaan vastaanottamaan 3,579545 MHz:n kantoaaltotaajuutta. Tämä on mahdollista sijoittamalla sopivan taajuinen kide piirilevylle ja säätämällä suodattimen trimmerikondensaattorista kaistanpäästösuodattimen keskitaajuus 3,579545 MHz:n kohdalle. Kiteen sopivana kokona voidaan pitää sitä, että se poikkeaa muutaman kilohertsin 3,579545 MHz:n kantoaallostaa. Näin saadaan kytkindemodulaattorilta taajuus, joka poikkeaa muutaman kilohertsin kantoaaltotaajuudesta.

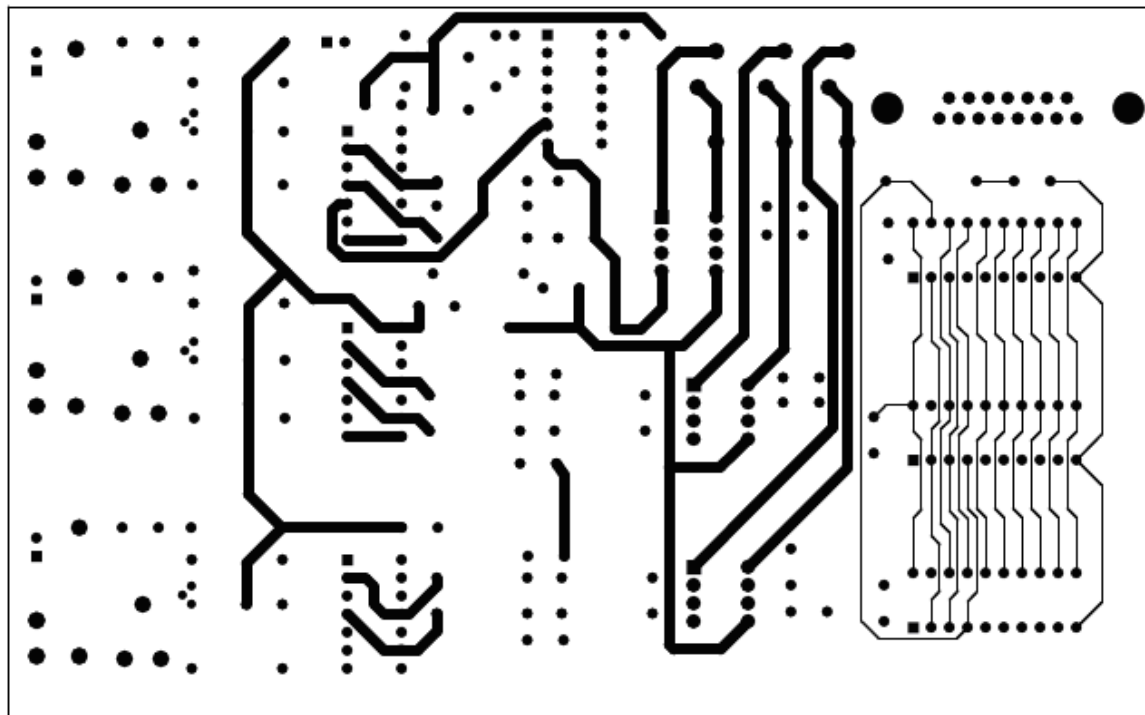
LÄHTEET

1. Heino, Jukka. Langaton teknologia, Kajaanin ammattikorkeakoulu, opetusmateriaali.
2. Heino, Jukka. RF-tekniikan esimerkkejä, Kajaanin ammattikorkeakoulu, opetusmateriaali 2006.
3. US-patentti. Daniel Richard Tayloe US 623000 B1, USPTO May 8, 2001.
4. User's Guide. Agilent Technologies, 8712ET and 8714ET RF Network Analyzers User's Guide.

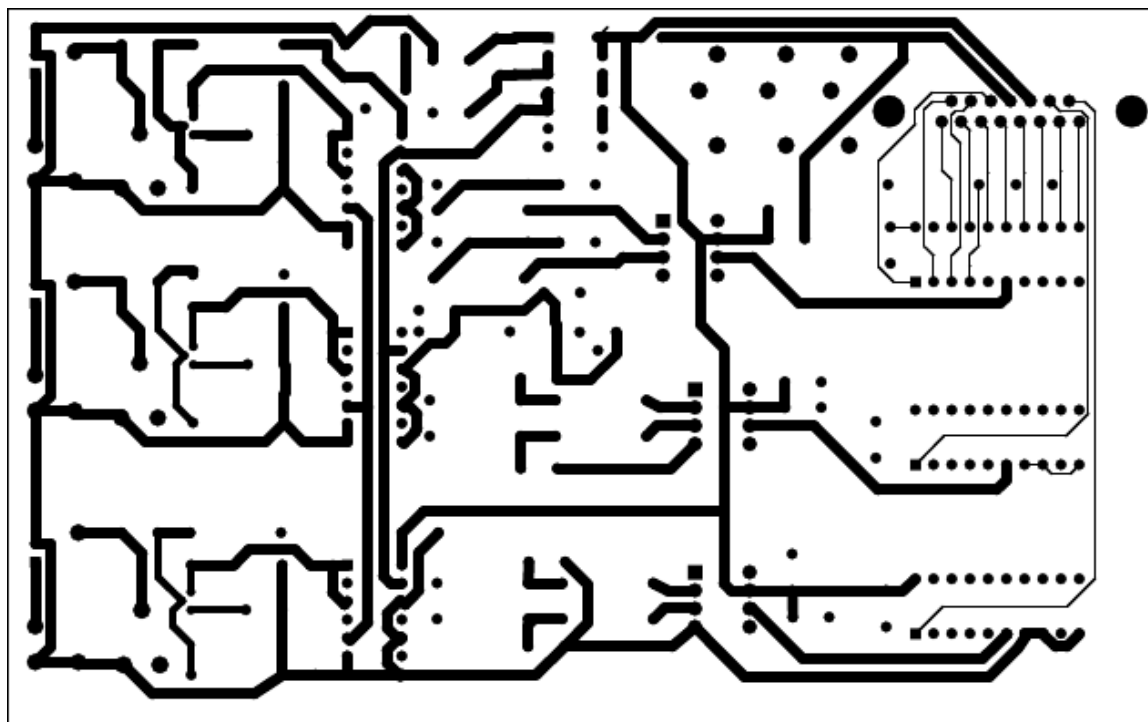
LIITTEIDEN LUETTELO

1. KOLMOISVASTAANOTTIMEN PIIRIKAAVIO
2. PIIRILEVYN KUVAT
3. KOMPONENTTIEN SIJOITTELUKUVA
4. OSALUETTELO

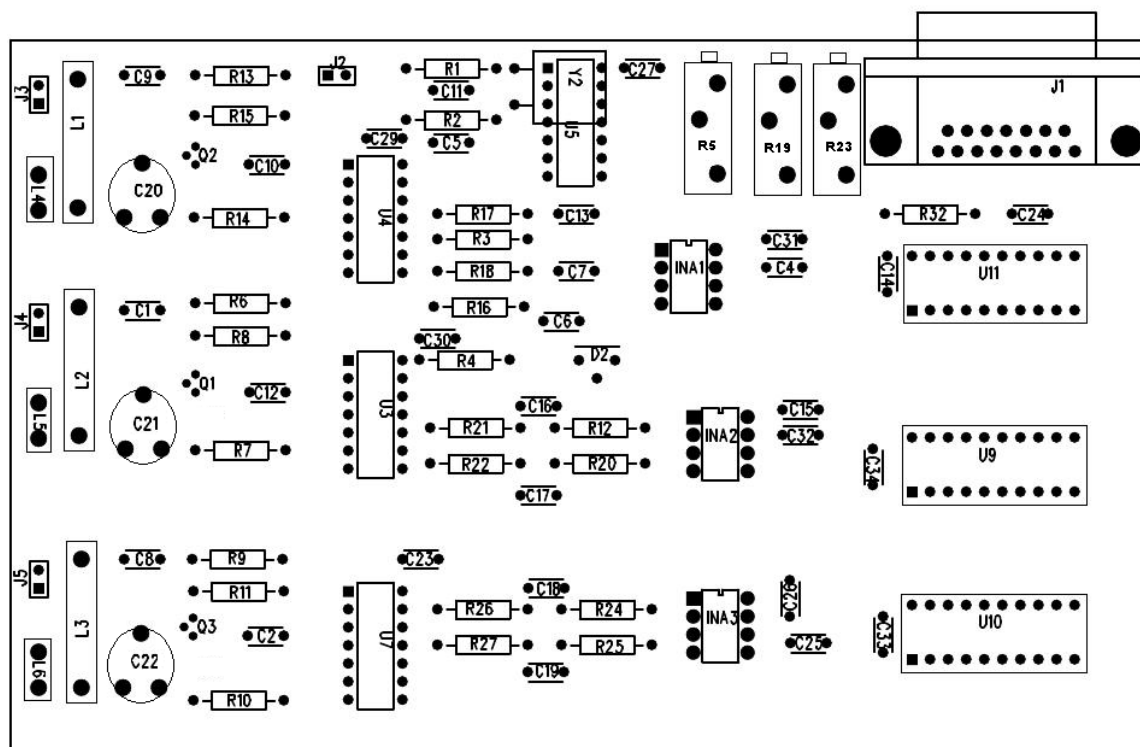
Piirilevyn komponenttipuoli.



Piirilevyn juotospuoli.



Komponenttien sijoittelukuva.



Osaluettelo.

1	3	Q1-3	2N2222A
2	1	U5	74HC04
3	3	U9-11	ADC0804
4	22	C1-2 C4-6 C8-12 C14-15 C23 C25-27 C29-34	100n
5	1	C24	150pF
6	6	C7 C13 C16-19	47n
7	3	U3-4 U7	CD4066BC
8	1	J1	CON-DB15HF
9	4	J2-5	CON-SIP-2P
10	3	INA1-3	INA126
11	3	L1-3	
12	1	R32	RES-1/4W,10k Ω
13	3	R6 R9 R13	RES-1/4W,12k Ω
14	3	R7 R10 R14	RES-1/4W,18k Ω
15	2	R1-2	RES-1/4W,1M Ω
16	12	R3 R12 R16-18 R20-22 R24-27	RES-1/4W,2.2k Ω
17	3	R8 R11 R15	RES-1/4W,220 Ω
18	1	R4	RES-1/4W,4.7k Ω
19	1	D2	TL431CLP, 2,5 V
20	3	L4-6	
21	3	C20-22	33 pF
22	3	R5 R19 R23	18k Ω
23	1	Y2	4 MHz